

# 用于非泄漏管线损伤的复合管套

## COMPOSITE WRAP FOR NON-LEAKING PIPELINE DEFECTS

### 1 内容提要

复合管套是一种永久性的、经济有效的管线修复技术，适用于诸如凹槽、凹痕、凿缝和外部腐蚀等非泄漏损伤。复合管套可直接在运行管线上安装，无须将损坏部分取出进行修复。这种修理技术快速，并且总体上比其他修理方案花费少。安装得当时，它可永久性地恢复管线的压力保持能力。

复合管套可作为传统管线修理方法（如更换管线或安装全圈闭钢质对开式管套）的一种替代方法。与这些传统方法相比，复合管套修理通常花费低、耗时短、劳动强度小。在更换管线的情况下，采用复合管套修复技术具有避免中断客户运行管线和消除损坏管线排放甲烷等诸多优点。

作为更换管线的一种替代方法，使用复合管套通常可节省大量气体，迅速回收管线修复费用。一个天然气 STAR 计划合作伙伴报道，每年在 10 英寸和更大直径的管线完成 2~65 次复合管套修理，每次修理节约甲烷 526~27 500 千立方英尺。在 1993~1999 年间，合作伙伴通过使用复合管套修复技术取代更换管线作业，节省了 106 133 千立方英尺的甲烷气体。

减少气体损失的方法	节省天然气的体积 (千立方英尺)	节省天然气的价值 <sup>2</sup> (美元)	实施费用 <sup>3</sup> (美元)	投资回收期
复合管套修理 <sup>1</sup>	3 960	11 880	3 963	立即

<sup>1</sup>在直径为 24 英寸的管线上修复直径为 6 英寸的损伤，管线操作压力为 350psig，关闭阀之间距离为 10 英里。  
<sup>2</sup>假设天然气价格按 3 美元/千立方英尺计算  
<sup>3</sup>包括劳务费用、设备和材料费用以及间接花费。本例中更换管线的费用为 22 746 美元，包括吹扫气体的费用（氮气价格按 4 美元/千立方英尺计算）。更详细的资料查看表 5。

### 2 技术背景

诸如腐蚀、凹痕、凿缝、凹槽和裂纹之类的非泄漏管线损伤能导致管线断裂。根据美国运输部（DOT）的统计，主要有三种方法可用于修复钢管上的非泄漏损伤。

- ★ 截去损坏部分，更换新管。
- ★ 在损坏区安装全圈闭钢质对开式管套。
- ★ 在损坏区安装复合套筒。

更换管线和安装套筒这两种方法费用高、耗时多、劳动强度大。更换管线要求关闭管线受影响部分，通常会造成运行中断。接着吹扫管线中的气体，切断受影响部分，然后将一段新管线焊接上去。钢质套筒一般用于修复泄漏或老化的管线，修复过程中不需要停工。挖出损坏管线，清洗管线外壁，然后用螺栓或焊接方法将不锈钢对开式管套安装到位。

作为更换管线的一种替代方法，使用复合管套能降低安全风险、减少管线停工时间、节省气体用于销售、减少甲烷排放量。复合管套系统允许在不关闭气流、不吹扫管线或不切断管线的情况下进行管线修复。复合管套系统将损伤部位的环向应力通过一个抗压强度高的充填物传递到紧紧缠绕

并粘结在管线上的复合套筒上。复合管套套筒属于A型全圈闭套筒。

**两种类型的全圈闭套筒**

**A型：** 钢质套筒没有焊接到母管周围

**B型：** 钢质套筒焊接到母管周围

## 2.1 复合管套分类

现有很多类型的复合管套系统。复合管套系统使用不同材料的包裹层和粘合剂，某些系统用环氧聚合物和固化剂。这些系统包括 Clock Spring®、StrongBack、Armor Plate®和 PermaWrap™。各种系统都具有各自的优点：

- ★ Clock Spring®是一种由三部分组成的系统，套筒本身由玻璃纤维和聚酯树脂组成。
- ★ StrongBack 系统是水活性系统，可用于水湿表面。
- ★ Armor Plate®提供不同类型的包裹系统，可用于各种环境中，包括高压或低压、高温或亚结冰温度以及水下。
- ★ PermaWrap™（WrapMaster 公司制造）具有利用智能清管器探测原来包裹层的特性，因此操作者不用揭开已修复管线部分的覆盖层。

大多数制造商提供安装视频、培训支持以及管线损伤分析软件。复合管套技术正迅速发展，一旦合作伙伴决定采用复合管套技术来修复非泄漏管线的话，鼓励合作伙伴寻找最好的系统来满足他们的维修需要。部分制造商目录请查看文后的参考文献部分。

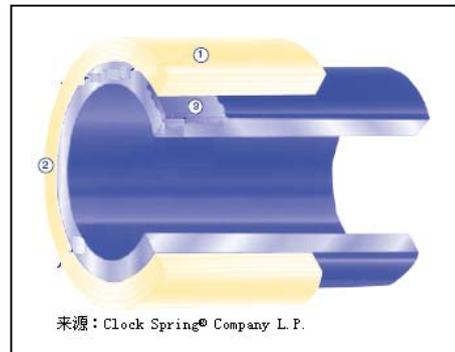
## 2.2 Clock Spring®修理

如上所述，目前有几种类型的复合管套修理系统。几个天然气 STAR 合作伙伴使用多年的一个系统是 Clock Spring®系统<sup>1</sup>。本部分将详述这个系统的材料、安装技术以及注意事项。

Clock Spring®复合管套由三部分组成：

- ①高强度的单向玻璃纤维复合结构和聚合物底座；
- ②固化速度快、性能高的两部件粘结系统；
- ③高压压缩强度的、转移负荷的充填混合物。

**复合结构。**复合管套叠层一般是 0.062 英寸厚，玻璃纤维含量占重量的 60%~70%。一个管套可覆盖长度为一英尺的管线。复合包裹材料沿管线缠绕 8 次，形成一个 1/2 英寸厚的加强材料层。螺旋缠绕带长度因管线直径不同而不同。Clock Spring®复合管套适用于直径在 4~56 英寸之间的管线。



**粘合剂。**两部件粘合剂是一种环氧甲基丙烯酸甲酯，用来确保管线修复到位。

**负荷转移（填充物）。**在管线修复中，复合管套分担管壁上所承受的环向载荷。这个载荷通过填充物被有效地传递到复合管套上。外部损伤处充满抗压强度高的填充材料以防止强度削弱的管壁出现更大的损伤。填充材料是一种抗压强度超过800psi的甲酯。

**安装。**为了确保正确地安装复合管套系统，需要对操作人员进行培训。对于 Clock Spring®复合管套系统，管线的修复过程包括以下几步：

- (1) 用填充材料充满外部损伤处。
- (2) 围绕管线缠绕 8 层复合管套，各层之间用粘合剂粘结。

<sup>1</sup>本研究集中于 Clock Spring®系统以简化后文描述的经济分析过程。天然气 STAR 计划并不是说这个复合管套系统就比市场上的其他复合管套系统要好或者要差。

- (3) 用张紧带将复合管套紧固在管线上。
- (4) 让粘合剂熟化两小时。
- (5) 给修复的管线涂上涂层以防止腐蚀或紫外线损伤（取决于管子是否被埋藏在地下）。
- (6) 重新填埋管线（如果需要）。

一旦安装好后，充填物、粘合剂和复合材料就紧紧粘结在一起形成一种永久性的修复，估计这种修复至少可保持 50 年时间。在许多情况下，整个工程从开挖到重新填埋在短短 4 个小时内就能完成。一个训练有素的 2 人工作小组在 30 分钟内就能完成安装工作（不包括粘合剂固化时间）。

当安装 Clock Spring®系统时，需要注意以下几点：

- ★ 在土壤完全饱和水的恶劣环境下，标准 Clock Spring®系统的最大操作温度是 130 °F。
- ★ 内部气体温度达到 180 °F时可采用改进的 Clock Spring®系统。
- ★ 如果 Clock Spring®系统用在地面上，由于材料对紫外线敏感，因此系统需要涂层保护。
- ★ 当在完全处于管线工作压力下进行 Clock Spring®修复时，制造商推荐在修复过程中降低管线压力。降低压力会减小管线修复过程中管线损伤处的应力。在压力回升过程中，当修复区域扩张时，环向应变从钢管转移到复合管套上，导致更大的负荷转移。
- ★ 对于 Clock Spring®系统，在管线损伤的每一侧，缠绕物至少要超过损伤位置 2 英寸才能牢固地粘结到母管上。因此，一个 12 英寸的套筒可用于修复损伤长度达 8 英寸的管线。对于长度超过 8 英寸的损伤，将多个复合管套彼此对接起来罩在损伤部位即可（在对接接头之间留有一个 1/2 英寸宽的缝隙）。在美国，最多有 15 个 Clock Spring®套筒被并排对接起来，在 800~900 psi 压力下用于修复管线损伤部位，损伤管线的直径在 16~30 英寸之间。

### 3 经济和环境效益

利用复合管套技术代替更换管线作业可产生巨大的经济和环境效益：

- ★ 在管线修复过程中，为了确保不中断管线运行需要采取一些技术措施，例如安装支路管线或临时运行管线，而利用复合管套技术则可避免因采取这些措施而支付额外的费用。
- ★ 不向大气中排放甲烷气体。使用复合管套消除了甲烷泄漏带来的经济损失。
- ★ 安装更容易和更快速，不需要专门的设备或者高度熟练的工作人员，如焊接工。一个训练有素的 2 人工作小组在 30 分钟内就能安装一个复合管套。固化时间大约 2 个小时。
- ★ 尽管制造商推荐降低管线压力进行修复，但该技术仍具有在完全处于管线工作压力下进行修复的能力。

### 4 决策步骤

利用下面讨论的五个步骤，合作伙伴就能确定出选择复合管套而不采用更换管线方法所带来的甲烷节省量和经济效益。如果套筒是公司常用的修复技术，则第 2 步中复合管套的费用分析方法仍可用于对比分析钢质套筒的修复费用。

**评价复合管套修复的五个步骤：**

- (1) 确定合适的应用技术
- (2) 计算复合管套的费用
- (3) 估计甲烷节省量
- (4) 计算更换管线的费用

(5) 经济评价

**第 1 步：确定合适的应用技术。**典型的适合采用复合管套修复技术的非泄漏损伤包括凹痕、凿缝和外部腐蚀。壁厚损失达 80% 的损伤可采用复合管套修复。使用复合管套没有压力限制。复合管套也可用于暂时修复内部腐蚀。如果消除了腐蚀源，则修复可成为永久性修复。

当考虑使用复合管套修复技术时，重要的决策因素包括管壁损失或变形的深度和长度、屈服强度、损伤深度、损伤轴向长度、管线直径、管壁厚度和管线操作压力。要最后确定复合管套是否将管线恢复到美国机械工程师学会标准（ASME）所规定的要求时，需要进行详细的现场测量，诸如 GRIWrap® 之类的软件包在确定复合管套对某个修复工作的适应性过程中是非常有用的。当维修工作很紧急、必须快速完成并且没有后备供气时，复合管套是修复非泄漏损伤的最理想的选择。

如果确定复合管套修理技术不适合使用而要采用切断/更换管线的修理方法的话，合作伙伴应考虑采用天然气 STAR 计划所推荐的其他技术来减少管线修理过程中的甲烷排放量。请参考技术经验交流材料“维修前利用管线抽空技术降低气体管线压力”。

**第 2 步：计算复合管套的费用。**复合管套修理费用变化范围很大，这取决于管线损伤长度和管线直径。安装复合管套的主要费用是劳务费用、设备和材料费用以及间接费用（如作业许可费用和检查费用）。根据厂商所提供的资料，2 人工作小组能在半小时内安装一个 Clock Spring® 复合管套。作为一个粗略估计，假定一个小组安装一个复合管套需要 2½ 小时（安装 1/2 小时加上固化 2 小时）。一个更综合的管线修复时间估计包括管线开挖所需的时间、安装复合管套所需的时间、粘合剂固化时间、涂层干燥时间以及管线重新填埋所需的时间。一个合作伙伴报道，安装 4 个复合管套从管线开挖到重新填埋估计需要 16 个小时。费用估计还应包括用于消耗性修理材料的直接费用（例如复合管套工具箱和涂层）以及用于诸如检查服务和获得作业许可的间接费用。

Clock Spring® 复合管套工具箱包含许多进行管线修理所需的配套部件，包括套筒、粘合剂、充填物、滚筒敷帖器和施工刷。费用从 432 美元（4 英寸管线工具箱）到接近 2 000 美元（56 英寸管线工具箱）不等。还需购买一些额外设备，如紧固钢筋和捆扎带、滚筒料斗。这些设备可用于多次修理，成本费用可平摊到整个设备使用寿命期上。要了解更多的复合管套工具箱信息，请参考附录。

其他制造商的工具箱含不同的设备。尽管本研究没有比较所有当前可用复合管套系统的经济性，但各种系统仍具有很大的市场竞争力。以下经济分析综合了 Clock Spring® 提供的费用信息。建议合作伙伴寻找最能满足他们需要的复合管套系统，并且利用本技术经验交流材料中介绍的方法来进行经济分析。

表 1 给出了估计复合管套修理费用中最常用的劳务费用和设备费用。用于训练和购买重复使用设备的一次性费用被排除在外，因为假定这些费用等于或少于更换管线工程所需的同等费用。

需要注意的是，这些劳动力价格不能用于所有类型的复合管套修理。合作伙伴在最终确定估计费用之前应咨询复合管套制造商。

**第 3 步：估算甲烷节省量。**复合管套技术不能用于活跃的甲烷泄漏。节省的气体量等于实施管线更换方法而将被排放到大气的气体量。更换管线要求关闭管线并用关闭阀将管线损伤部分隔离出来。关闭阀之间的距离由 DOT 条例规定，在偏僻地方可能达到 10 英里。处于隔离管线内的甲烷气体一般都会被排放到大气中。

正如表 2 所示, 利用复合管套取代更换管线所节省的气体体积可以通过一个简单公式计算出来, 该公式考虑了管线压力、隔离部分长度和管线横截面积等因素。

**第4步: 计算更换管线的费用。**与更换管线相关的费用可分成三类:

- ★ 管线吹扫费用。
- ★ 劳务费用和设备费用。
- ★ 与管线更换相关的额外的间接费用, 例如通告停止供气服务的费用、管线重新启动的费用、检查服务费用和作业许可费用。

**表1: 计算安装复合管套的费用**

**已知:** 在直径为24英寸的管线上, 有一尺寸为6英寸的非泄漏损伤, 操作压力350 psig, 假设利用下述工作分类需16小时完成该工程<sup>1</sup>。假定工程管理和规划的费用是现场劳务费用的25%。

$C_{labor}$  = 劳务费用

*现场劳动工种的计时工资*

操作工=34美元/小时

管道工=31美元/小时

学徒=21美元/小时

$C_{equip}$  = 设备费用

*单个设备费用*

复合管套工具箱=878美元/个

挖土机=36美元/小时

喷砂设备=10美元/小时

管线涂层(复合管套工具箱费用的5%)=44美元

$C_{indirect}$  = 间接花费, 如现场检查人员费用、获得作业许可的费用等等

(假设占设备和劳务总费用的50%<sup>3</sup>)

**(1) 计算劳务费用**

$C_{labor}$  = 工程管理费用 + 现场劳务费用

现场劳务费用 = 每小时费用 × 完成工作所要时间

$$= (34\text{美元} + 31\text{美元} + 21\text{美元}) \times 16$$

$$= 1\ 376\text{美元}$$

工程管理费用 =  $0.25 \times 1\ 376\text{美元} = 344\text{美元}$

$$C_{labor} = 344\text{美元} + 1\ 376\text{美元} = 1\ 720\text{美元}$$

**(2) 计算设备费用**

$C_{equip}$  = 消耗材料(复合管套工具箱和涂层)的费用 + 现场租用或使用设备的费用

$$= 878\text{美元} + 44\text{美元} + (36\text{美元} \times 16) + (10\text{美元} \times 16)$$

$$= 1\ 658\text{美元}$$

**(3) 计算间接费用**

$C_{indirect}$  = 与作业许可、检查服务、管道用地等相关的费用

$$= 0.5 \times (C_{labor} + C_{equip}) = 0.5 \times (1\ 720\text{美元} + 1\ 658\text{美元})$$

$$= 1\ 689\text{美元}$$

**(4) 计算管道修复的总费用**

管道修复总费用 =  $C_{labor} + C_{equip} + C_{indirect}$

$$= 1\ 720\text{美元} + 1\ 658\text{美元} + 1\ 689\text{美元}$$

$$= 5\ 067\text{美元}$$

<sup>1</sup>合作伙伴提供的信息

<sup>2</sup>Quick, P. “管线修复经济”, 南部天然气协会输送工作会议, 新奥尔良, 路易斯安娜, 2001年7月。

<sup>3</sup>摘自Boreman, David. J. et. al. “气体输送管线修理技术”, 管道和天然气期刊, 2000年3月。

更换管线之后，在管线重新投入运行之前需要吹扫修复管段，这要求购买和使用惰性气体，例如氮气。表3给出了如何计算管线吹扫费用的方法，即吹扫气的体积乘以气体价格。

表4给出了如何计算管线更换工程的劳务费用和设备费用的方法。一般来说，更换管线的费用通常要高于复合管套修理的费用。

**第5步：经济评价。**表5给出了更换损坏管线和用复合管套修复损伤部位这两种方案的费用对比情况。两种情况，损伤部位都位于直径为24英尺的管线上，管线操作压力为350 psig。唯一的差别是损伤的长度不同，第一种情况的损伤长度为6英尺，第二种情况的损伤长度为234英寸。选择这两个例子的原因，首先是长度短的损伤代表最典型的修复，其次是长度长的损伤代表了复合管套修复费用超过管线更换费用的另一种情况。

**表2 计算复合管套修理的甲烷节省量**

**已知：**管道公司在24英寸管线上进行复合管套修理，操作压力为350 psig，关闭阀之间距离为10英里。

D=管线内径（英寸）

L=关闭阀之间的管线长度（英尺）

P=管线压力（低压用psia<sup>1</sup>，高压用psig）

P<sub>methane</sub>=当前甲烷市场价（3美元/千立方英尺）

V<sub>methane</sub>=甲烷排放体积

**(1) 计算甲烷排放体积**

使用复合管套的甲烷节省量=避免从管线更换过程中排放的甲烷量

V<sub>methane</sub>=在一定管线压力下使用复合管套技术所节省的甲烷体积

$$V_{\text{methane}} = (D^2 \times P \times (L/1000) \times 0.372) / 1000$$

$$= (24^2 \times 350 \times (52\,800/1\,000) \times 0.372) / 1\,000$$

$$= 3\,690 \text{ 千立方英尺}$$

**(2) 计算节省甲烷的价值**

$$\text{使用复合管套所节省甲烷的价值} = V_{\text{methane}} \times P_{\text{methane}}$$

$$= 3\,690 \text{ 千立方英尺} \times 3 \text{ 美元/千立方英尺}$$

$$= 11\,180 \text{ 美元}$$

来源：管道经验手册，第五版本，2002

<sup>1</sup>50psi或低于50psi的管线压力考虑为低压。

**表3 计算更换管线的吹扫费用**

**已知：**假设一条24英寸管线，操作压力为350 psig，关闭阀之间距离为10英里。

D=管线内径（英寸）

L=关闭阀之间的管线长度（英尺）

V<sub>p</sub>=管线段体积

P<sub>pgas</sub>=当前吹扫气市场价（美元/千立方英尺）

V<sub>pgas</sub>=吹扫气体积

**(1) 计算清洗气体的体积**

$$V_{\text{pgas}} = \text{更换管线过程中使用的吹扫气}^1 \text{ 体积}$$

$$= V_p \times 1.2 \text{ (修复管线+20\%浪费)}$$

$$= (\pi \times D^2 \times L) \times 1.2 / (4 \times 144 \times 1\,000)$$

$$= (3.14 \times 24^2 \times 52\,800) \times 1.2 / (4 \times 144 \times 1\,000)$$

$$= 199 \text{ 千立方英尺}$$

**(2) 计算吹扫气体费用**

吹扫气体费用= $V_{pgas} \times P_{pgas}$ $=199 \text{千立方英尺} \times 4 \text{美元/千立方英尺}$ $=796 \text{美元}^1$
<sup>1</sup> 惰性气体假设为氮气，价格按4美元/千立方英尺计算。

场地开挖和管线重新填埋是这两种修理方案共有的工作。为了简化分析，假设这类共有工作的费用相等并将其排除在外不予考虑。

**表4 计算更换管线的劳务费用、设备费用和间接费用**

<p><b>已知：</b>某管道公司在操作压力为350 psig、直径为24英寸的管线上探测到一个尺寸为6英寸的非泄漏损伤。关闭阀门相隔10英里。用72英寸管线进行更换<sup>1</sup>。</p> <p>假设工作时间为40小时<sup>2</sup>，采用下面的劳务和设备分类以及计时工资<sup>3</sup>。</p> <p>假设工程管理和规划费用为现场劳务费用的25%。</p>
<p><i>各个劳动工种的计时工资</i></p> <p>焊工=35美元/小时</p> <p>操作工=34美元/小时</p> <p>管道工=31美元/小时</p> <p>学徒=21美元/小时</p> <p><i>设备费用</i></p> <p>吊车/吊杆卡车=36美元/小时</p> <p>焊管架=20美元/小时</p> <p>挖土机=36美元/小时</p> <p>钢管<sup>4</sup>=50美元/英尺</p> <p>涂层<sup>5</sup>=303美元</p> <p><b>(1) 计算劳务费用</b></p> <p>现场劳动花费= (35美元+34美元+31美元+21美元) /小时 × 40小时  <math>=4 \ 840 \text{美元}</math></p> <p>工程管理费用=0.25 × 4 840美元=1 210美元</p> <p>总劳务费用<math>C_{labor}</math> =4 840美元+1 210美元=6 050美元</p> <p><b>(2) 计算设备费用</b></p> <p>总的设备和材料费用<math>C_{equip}</math></p> <p>= (36美元+20美元+36美元) /小时 × 40小时+50美元/英尺 × 6英尺+303美元  <math>=4 \ 283 \text{美元}</math></p> <p><b>(3) 计算间接费用</b></p> <p>间接费用=与作业许可、检查服务、管道用地等相关的费用<sup>6</sup></p> <p><math>C_{indirect}</math> = (假设为设备和劳务总费用的40%)</p> <p><math>=0.4 \times (C_{labor} + C_{equip})</math>  <math>=4 \ 133 \text{美元}</math></p> <p><b>(4) 计算总费用</b></p> <p>总费用=<math>C_{labor} + C_{equip} + C_{indirect}</math>  <math>=14 \ 466 \text{美元}</math></p>
<p><sup>1</sup>更换管线的直径至少是当前管线直径的三倍。基于合作伙伴提供的信息。</p> <p><sup>2</sup>更换管线从开挖到重新填埋所需的时间。基于合作伙伴提供的信息。假设需工作一周（5天，8小时/天）。排除加班时间。</p> <p><sup>3</sup>Quick, P. “管线修复经济”，南部天然气协会输送工作会议，新奥尔良，路易斯安娜，2001年7月。</p> <p><sup>4</sup>假设钢管价格为50美元/英尺。合作伙伴提供的信息。</p> <p><sup>5</sup>基础：油气期刊，“复合管套用于美国天然气管线修理”，1995年10月9日。费用取2英尺对开套筒费用的三倍。</p>

<sup>6</sup>摘自Boreman, David. J. et. al. “气体输送管线修理技术”，管道和天然气期刊，2000年3月。

剩下的劳务费用和材料费用对各个修理方案是不同的。表5列出了各个修复方案的主要费用。吊车或吊杆卡车仅在更换管线方案中使用，需将其包含在基本分析中。

一旦更换部分对中并焊接到位，在进行测试之前一般需要等待24小时以确保焊缝安全。表5中的分析假设已经在指定期限内完成了测试工作。

分析表明，复合管套修理将节省大量的甲烷气、氮气和劳动力。对于第一种情况，复合管套工具箱的费用较低，因为6英寸损伤仅需要一个修复工具箱。在损伤尺度为6英寸的情况下，仅凭甲烷节省量就可弥补复合管套修理的费用，并且可立即回收投资成本。

**表5 管线更换与复合管套的经济对比**

已知：在350psig <sup>1</sup> 压力下工作的直径为24英寸的管线，关闭阀之间距离为10英里。				
	6英寸损伤		234英寸损伤	
	复合管套修理	管线更换	复合管套修理	管线更换
甲烷损失量（千立方英尺）	0	3 960	0	3 960
吹扫气（千立方英尺）	0	199	0	199
复合管套工具箱数目	1	0	20 <sup>2</sup>	0
甲烷排放费用 <sup>3</sup>	0美元	11 880美元	0美元	11 880美元
吹扫气费用 <sup>4</sup>	0美元	796美元	0美元	796美元
劳务费用 <sup>5</sup>	1 720美元	4 350美元	3 440美元	6 525美元
设备和材料费用 <sup>6</sup>	922美元	2 843美元	18 440美元	7 280美元
间接费用	1 321美元	2 877美元	10 940美元	5 500美元
总的修理费用	3 963美元	22 746美元	32 820美元	32 003美元
最经济性的方案	×			×

<sup>1</sup>等于进行复合管套修复时所降低的压力。  
<sup>2</sup>基于并排间隔距离小于2英寸的复合管套数量，该间隔距离是将复合管套粘结到母管上所需的各个套筒末端之间相隔的距离。  
<sup>3</sup>假设甲烷价格按3美元/千立方英尺计算。  
<sup>4</sup>假设氮气价格按4美元/千立方英尺计算。  
<sup>5</sup>管线更换：假设修复损伤尺度为6英寸的管线需要40小时（没有加班时间），修复损伤尺度为234英寸的管线需要60小时（没有加班时间）。复合管套修理：假设修复损伤尺度为6英寸的管线需要16小时（没有加班时间），修复损伤尺度为234英寸的管线需要32小时（没有加班时间）。劳动力价格如表1和表4所示。更换管线的劳动工种不包括操作工，假设操作工的主要角色与管线开挖和重新填埋有关。复合管套的劳动工种没有类似调整。  
<sup>6</sup>不包括表1和表4所示的挖土机和喷砂设备的费用。对于234英寸的损伤，假设替换管线的长度为39英尺（管线损伤长度的两倍）。

对于损伤尺度为234英寸的这种情况，可将20个复合管套工具箱并排平接在一起使用，设备费用比短损伤尺度的费用增加了近20倍，而比更换管线的费用增加了2.5倍。节省甲烷创造的价值和较低的劳务费用被高昂的材料费用所抵消，这导致两种修理方案的费用更具可比性。

需要着重指出的是，在某些情况下（例如某些长尺度的损伤），尽管会发生气体泄漏，但更换管线是最经济有效的修理方案。然而，许多天然气STAR合作伙伴在这些情况下选择了复合管套修复而不是更换管线，需强调的是费用并不是影响选择修理方案的唯一因素。来自天然气STAR合作伙伴的案例表明，管线修复的紧迫程度、备用气体供应的可用性和修理速度影响着最后的决定。

#### 合作伙伴的复合管套修理经历

一个天然气STAR计划合作伙伴报道，自1995年以来，在非泄漏损伤尺度大于10英寸的管线上完成了300多次复合管套修复工作。在某种情况下，合作伙伴通过将2个复合管套套筒并排对接起来修复了尺度为20英寸的管线损伤。因为受损管线在河床附近、不能打开管线（如果打开管线就等同于管线替换）、要防止水与管线内部接触以及避免附带产生的新问题。2个训练有素的工作人员在4个小时内完成了复合管套安装和重新填埋管线工作。整个修理工作从开挖到重新填埋在两天之内完成，管线未停止运行。

对这个合作伙伴来说，在选择采用复合管套修复技术而不选择更换管线作业的过程中，费用通常是第二个考虑项。首要的考虑是：

- ★ 能否在不停止管线运行的情况下完成管线修复？这在没有后备气源的地区很重要。
- ★ 能多快完成修复工作？复合管套修理通常需要2天，而更换管线一般需要5~7天。
- ★ 能否安全完成修复工作？当在“活”管线上进行诸如复合管套或钢质套筒之类的修复时，通常要考虑到操作人员的安全问题。与钢质套筒修理相比，复合管套修复技术没有更多的安全考虑。

## 5 经验总结

复合管套修理能够经济有效地消除与修复管线上某些非泄漏损伤相关的甲烷排放问题。合作伙伴提供了以下经验：

- ★ 复合管套修理可永久性修复管线上的非泄漏损伤和临时修复由内部腐蚀引起的损伤。
- ★ 复合管套修理消除了关闭损坏管线的需要，消除了与维修之前将甲烷排放到大气这个过程，该技术节省了大量甲烷气体。
- ★ 甲烷节省费用可充分弥补复合管套修理的费用，并能立即收回投资。
- ★ 当维修工作要求很紧急、必须快速完成并且没有后备供气时，复合管套是修复非泄漏损伤的最理想的选择。
- ★ 在修复过程中，管线通常能在压力至少为正常压力一半的情况下进行工作，这样能避免潜在的运行中断、降低收益损失以及减少排放气体损失的价值。
- ★ 重量轻的复合管套材料安装起来相对容易。在不需焊接、切割和专门处理设备的情况下，2个技术不熟练的工作人员在几个小时内能完成管线修复工作。
- ★ 指定并购买金属套筒或管段来修复管线会延误时间，进而造成经济损失，复合管套技术能消除这部分损失。
- ★ 复合管套将管线恢复到原始的压力性能，并提高了抵抗结构进一步恶化的能力。
- ★ 复合管套修复部分的测试结果显示该管段具有连续的阴极保护功能。
- ★ 许多公司现在提供复合管套系统，各有优点，因此货比三家后购买是很重要的。
- ★ 如果公司以前的策略是更换管线受损部分，那么请将通过这种技术减少的甲烷排放量记录下来并写入天然气STAR计划的报告中。

## 6 参考文献

Armor Plate, Inc., <[www.armorplateonline.com](http://www.armorplateonline.com)>.

ASME B31G, Manual for Determining Remaining Strength of Corroded Pipelines: Supplement To B31 Code-Pressure Piping, 1991.

Boreman, J. David, et al., Repair Technologies for Gas Transmission Pipe-lines, Pipeline

and Gas Journal, March 2000.

Columbia Gas Transmission and Columbia Gulf Transmission, personal contact.

EPA Partnership, Columbia Energy Reports Significant Reduction in Methane Emissions, November 2000.

Furrow, M. L., U.S. Department of Transportation, personal contact.

Gas Research Institute, Summary of Validation of Clock Spring® for Permanent Repair of Pipeline Corrosion Defects, GRI-98/0227.

Leewis, Dr. Keith, Gas Technology Institute, personal contact.

McAllister, E.W., Pipeline Rules of Thumb Handbook, 5<sup>th</sup> Edition, 2002.

Mohitpour, M. et al., Pipeline Rehab Responding to Regulatory Pressures, Technological Advances, Oil and Gas Journal, January 20, 2003.

The Clock Spring Company L.P., <www.clockspring.com>.

The StrongBack Corporation, <www.strongbackcorp.com>.

Tingley, Kevin, U.S. EPA Natural Gas STAR Program, personal contact.

U.S. Environmental Protection Agency. Lessons Learned: Using Pipeline Pump-Down Techniques to Lower Gas Line Pressure Before Maintenance (EPA430-B00-007, December 2000).

WrapMaster, Inc., <www.wrapm.com>.

## 附录

Clock Spring复合管套管产品	
管线尺寸	复合管套配套元件费用 (2001年)
4英寸	432美元
6英寸	402美元
8英寸	466美元
10英寸	508美元
12英寸	549美元
14英寸	599美元
16英寸	649美元
18英寸	717美元
20英寸	794美元
22英寸	859美元
24英寸	878美元
26英寸	924美元
28英寸	969美元
30英寸	998美元
32英寸	1 051美元
36英寸	1 129美元
40英寸	1 331美元
42英寸	1 386美元
44英寸	1 488美元
48英寸	1 668美元
56英寸	1 951美元

**复合管套工具箱内容**

- 复合管套套筒（安装好后长12英寸、厚1/2英寸）
- 粘合剂
- 负荷转移充填物
- 滚筒敷贴器
- 双边的粘合剂启动衬垫
- 校准块
- 施工刷，涂料盘衬板、搅拌杆、搅拌器、废料袋
- 一个任选配件，专门设计的安装架

来源:Clock Spring®公司 L.P.。Clock Spring®是NCF公司的注册商标。版权所有。在NCF公司许可下生产。Clock Spring符号是Clock Spring 公司 L.P.的注册商标。

**各种各样的一次性成本的设备（不包括工具箱费用）**

标准紧固钢筋和捆扎带费用	150美元
H. D. 紧固钢筋和捆扎带费用	225美元
紧固捆扎带费用	25美元
滚筒料斗费用	350美元
温度计w/磁性费用	32.50美元
硬度测定器费用	350美元
成套的紧固钢筋和捆扎带费用	150美元
训练费用——不包括旅行费用	750美元